

PCT

WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM  
Internationales BüroINTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE  
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

<b>(51) Internationale Patentklassifikation <sup>7</sup> :</b> <b>G05B 13/02, 17/02</b>	<b>A1</b>	<b>(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 00/65412</b> <b>(43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 2. November 2000 (02.11.00)</b>
<b>(21) Internationales Aktenzeichen:</b> PCT/DE00/01035 <b>(22) Internationales Anmeldedatum:</b> 4. April 2000 (04.04.00)  <b>(30) Prioritätsdaten:</b> 199 19 106.9      27. April 1999 (27.04.99)      DE  <b>(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US):</b> SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, D-80333 München (DE).  <b>(72) Erfinder; und</b> <b>(75) Erfinder/Anmelder (nur für US):</b> STÖHR, Annelie [DE/DE]; Schönstr. 27A, D-81543 München (DE).  <b>(74) Gemeinsamer Vertreter:</b> SIEMENS AKTIENGE- SELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, D-80506 München (DE).		<b>(81) Bestimmungsstaaten:</b> US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).  <b>Veröffentlicht</b> <i>Mit internationalem Recherchenbericht. Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist; Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.</i>
<b>(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR DEVELOPING A TECHNICAL SYSTEM</b> <b>(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND ANORDNUNG ZUM ENTWURF EINES TECHNISCHEN SYSTEMS</b> <b>(57) Abstract</b> <p>The invention relates to a method for developing a technical system in which the technical system comprises an objective function that is influenced by a parameter vector with n parameters. In addition, secondary conditions are provided by means of which a domain for valid operating points of the technical system is determined. An efficient operating point is determined using a Stratonovich equation and is used for developing the technical system.</p> <b>(57) Zusammenfassung</b> <p>Es wird ein Verfahren zum Entwurf eines technischen Systems angegeben, bei dem das technische System eine Zielfunktion umfaßt, die von einem Parametervektor mit n Parametern beeinflusst wird. Ferner sind Nebenbedingungen vorgegeben, anhand derer ein Gebiet für gültige Arbeitspunkte des technischen Systems bestimmt ist. Mittels einer Stratonovich-Gleichung wird ein effizienter Arbeitspunkt ermittelt und zum Entwurf des technischen Systems eingesetzt.</p>		

# **LEDIGLICH ZUR INFORMATION**

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidshan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland			TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	ML	Mali	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MN	Mongolei	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MR	Mauretanien	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MW	Malawi	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	MX	Mexiko		
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CG	Kongo	KE	Kenia	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CM	Kamerun			PL	Polen		
CN	China	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CU	Kuba	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CZ	Tschechische Republik	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
DE	Deutschland	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DK	Dänemark	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
EE	Estland	LR	Liberia	SG	Singapur		

Beschreibung**Verfahren und Anordnung zum Entwurf eines technischen Systems**

- 5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anordnung zum Entwurf eines technischen Systems.

Für den Entwurf eines komplexen technischen Systems ist es notwendig, unter einer Menge zulässiger Arbeitspunkte (Be-  
10 triebpunkte, Auslegungsparameter) mindestens einen Arbeitspunkt zu bestimmen, der einen effektiven Ablauf des Systems ermöglicht. Dabei sind oftmals Nebenbedingungen zu berücksichtigen, die die Menge der Arbeitspunkte einschränken und dementsprechend bei der Suche nach dem Arbeitspunkt mit-  
15 zuberücksichtigen sind.

In der Praxis wird das technische System häufig anhand der Erfahrung und des Wissens eines (oder mehrerer) Experten entworfen. Dabei ist es von Nachteil, daß bei Überschreitung ei-  
20 ner gewissen Komplexität für das technische System die Fehlerwahrscheinlichkeit beim manuellen Entwurf ansteigt.

Aus [1] ist ein Verfahren zur Optimierung bekannt, das einen Ansatz verfolgt, anhand dessen, basierend auf einer numeri-  
25 schen Lösung einer stochastischen Differentialgleichung, eine globale Optimierung durchgeführt wird. Nebenbedingungen werden dabei als Strafterme (engl.: penalty functions) berücksichtigt. Dabei ist es von Nachteil, daß der Bereich zulässiger Arbeitspunkte verlassen wird, weil

- 30 a) damit Information verschenkt wird,  
b) in einem technischen System die Zulässigkeit oftmals wichtiger als die Güte ist bzw. ein Betrieb des Systems in einem unzulässigen Bereich gar nicht möglich ist und  
35 c) Strafterme im praktischen Einsatz schwierig vorzugeben bzw. zu dimensionieren sind.

In [2] ist eine Methode zur lokalen Optimierung unter Nebenbedingungen mit Hilfe von Projektionen beschrieben, bei der insbesondere nichtlineare Nebenbedingungen berücksichtigt werden.

5

Das Konzept einer Stratonovich-Gleichung (auch: "Fisk-Stratonovich-Gleichung") ist aus [3] bekannt. Dabei bezeichnet die Stratonovich-Gleichung einen Typ stochastischer Differentialgleichungen mit speziellen (siehe [3]) Eigenschaften.

10

Die **Aufgabe** der Erfindung besteht darin, einen Entwurf eines technischen Systems zu ermöglichen, der ohne gesonderte Strafterme auskommt.

15

Diese Aufgabe wird gemäß den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche gelöst. Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich auch aus den abhängigen Ansprüchen.

20

Zur Lösung der Aufgabe wird ein Verfahren zum Entwurf eines technischen Systems angegeben, bei dem das technische System eine Zielfunktion umfaßt, die von einem Parametervektor mit  $n$  Parametern beeinflusst wird. Es sind Nebenbedingungen vorgegeben, anhand derer ein Gebiet für gültige Arbeitspunkte des technischen Systems bestimmt ist. Mittels eines Projektionsoperators wird eine Stratonovich-Gleichung bestimmt, durch deren numerische Lösung ein effizienter Arbeitspunkt ermittelt wird. Der ermittelte effiziente Arbeitspunkt wird zum Entwurf des technischen Systems eingesetzt.

30

Als eine Weiterbildung ist die Stratonovich-Gleichung derart bestimmt, daß deren Lösung in dem Gebiet der gültigen Arbeitspunkte verläuft.

35

Eine andere Weiterbildung besteht darin, daß die Stratonovich-Gleichung mittels eines Prädiktor-Korrektor-Verfahrens numerisch gelöst wird. Ein Prädiktor ist allgemein beschreib-

bar als eine Vorhersagegröße, die gegenüber der zu vorhersagenden Größe einen Fehler aufweist, welcher mittels des Korrektors weitgehend ausgeglichen wird.

5 Insbesondere kann der Prädiktor anhand der Trapezregel bestimmt werden. Dabei ist die Trapezregel für Riemann-  
Integrale beispielsweise aus [4] bekannt. Die Trapezregel für Stratonovich-Integrale folgt aus der Definition des Stratonovich-Integrals selbst. So ist das Stratonovich-Integral als  
10 ein Grenzwert der Trapezsummen definiert, die Trapezregel ist damit ein Teil der Definition des Stratonovich-Integrals. Es wird mittels Trapezsummen eine implizite Gleichung für den Prädiktor aufgestellt, die anhand eines Newton-Verfahrens approximativ gelöst wird.

15

Eine Ausgestaltung besteht darin, daß zusätzlich eine Schrittweitensteuerung im Verlauf der globalen Optimierung erfolgt. Dies geschieht insbesondere durch eine Schrittweitenverkleinerung, falls ein zu großer Approximationsfehler  
20 vermutet wird (Wert für den vermuteten Approximationsfehler überschreitet eine vorgegebene Schranke), oder durch eine Schrittweitenvergrößerung, falls ein (sehr) kleiner Approximationsfehler vermutet wird (Wert für den vermuteten Approximationsfehler liegt unterhalb einer vorgegebenen Schranke).

25

Auch kann eine zusätzliche Schrittweitenverkleinerung durchgeführt werden, falls ein nach dem oben beschriebenen Verfahren ermittelter effizienter Arbeitspunkt als ein Startwert für ein nachfolgendes lokales Optimierungsverfahren eingesetzt wird. Dadurch kann gewährleistet werden, daß in der Nähe des lokalen Optimums eine Annäherung mit zunehmend geringerer Schrittweite erfolgt und damit das Optimum mit hoher Genauigkeit erreicht wird.

35 Eine andere Ausgestaltung besteht darin, daß die Stratonovich-Gleichung insbesondere die folgende Form aufweist:

$$X_t = X_a - \int_a^t P(X_s) \cdot F(X_s) \cdot ds + Z \quad (1)$$

mit  $t \geq a$  und  $X_a = x_0$

wobei

- 5         $a$                 einen Startzeitpunkt,  
           $x_0$                 einen zulässigen Startparametervektor,  
           $X_t$                 einen Lösungsparametervektor zum Zeitpunkt  $t$ ,  
           $P(X_s)$             eine Projektionsmatrix im Parametervektor  $X_s$ ,  
           $F(X_s)$             eine Aufstiegsrichtung im Parametervektor  $X_s$ ,  
 10         $Z$                 eine Zufallsgröße  
 bezeichnen.

Ferner kann die Aufstiegsrichtung bestimmt sein durch

$$15 \quad F = \nabla f(X_s), \quad (2),$$

wobei  $f$  die Zielfunktion bezeichnet.

20 In einer zusätzliche Ausgestaltung ist die Zufallsgröße  $Z$  bestimmt durch

$$Z = \varepsilon \cdot \int_a^t P(X_s) \circ dB_s \quad (3),$$

wobei

- 25         $\varepsilon$                 einen Skalierungsfaktor und  
           $\{B_s: s \geq a\}$     eine  $n$ -dimensionale Brownsche Bewegung  
 bezeichnen.

30 Aus [5] ist bekannt, daß eine numerische Lösung der stochastischen Differentialgleichung

$$X_t = X_a - \int_a^t \nabla f(X_s) ds + \varepsilon \cdot \int_a^t dB_s, \quad t \geq a \quad (4)$$

mit einem beliebigen Startparametervektor  $x_0 \in \mathbb{R}^n$  (mit  $\mathbb{R}$  für die Menge der reellen Zahlen) und der daraus resultierenden Startbedingung  $X_a = x_0$  ein Verfahren zur globalen Optimierung von  $f$  auf dem Parameterraum darstellt.

Liegen zusätzlich Nebenbedingungen in Form von Gleichungen und Ungleichungen vor, die den Parameterraum eingrenzen, so wird insbesondere zunächst der zulässige Parameterraum mittels Einführung von Schlupfvariablen so umformuliert, daß er eine Mannigfaltigkeit beschreibt. In der obigen Differentialgleichung (4) werden nur noch diejenigen Anteile der Integranden berücksichtigt, die tangential zur Mannigfaltigkeit verlaufen. Dies geschieht durch Multiplikation mit Projektionsmatrizen. Es ergibt sich die besondere stochastische Differentialgleichung nach Gleichung (1) (insbesondere in Zusammenschau mit den Gleichungen (2) und (3)), die vom Typ einer Stratonovich-Differentialgleichung ist.

Eine zusätzliche Weiterbildung besteht darin, daß eine Nebenbedingung  $h_i(x) \leq 0$ , die in Form einer Ungleichung vorliegt, mittels einer Schlupfvariable umgeformt wird zu einer Gleichung. Diese Umformung hat insbesondere die Form

$$\tilde{h}_i(x, s) = h_i(x) + g(s) \quad (5),$$

wobei

$g(s)$  eine Funktion mit einem Wertebereich aller reellen Zahlen größer gleich Null ( $\mathbb{R}_0^+$ ),  
 $s$  die Schlupfvariable und  
 $h_i(x)$  eine Nebenbedingung  $h_i(x) \leq 0$  bezeichnen.

Ferner kann die Funktion  $g(s)$  bestimmt sein zu:

$$g(s) = s^2 \quad (6).$$

Die Lösung der Gleichung (1) stellt einen stochastischen Prozeß

$$\{X_t: t \geq a\} \quad (7)$$

5

dar. Es wird eine Folge zulässiger Parametervektoren

$$x_{t_1}, x_{t_2}, x_{t_3}, \dots \quad (a < t_1 < t_2 < t_3 \dots) \quad (8)$$

- 10 berechnet, die in Näherung Punkte eines Pfades des stochastischen Prozesses gemäß Gleichung (7) zu den Zeitpunkten  $t_1, t_2, t_3, \dots$  darstellen. Ein Iterationsschritt kommt dabei auf die folgende Art zustande: Die Parametervektoren  $x_{t_1}, x_{t_2}, x_{t_3}, \dots, x_{t_i}$  seien bereits berechnet,  $x_{t_i}$  dient dann
- 15 als Startpunkt für die Stratonovich-Gleichung (1), d.h.  $a := t_i$ . Ein Parametervektor  $x_{t_{i+1}}$  wird als numerische Approximation eines Punktes des Pfades der Lösung gemäß Gleichung (7), der bereits die Punkte  $x_{t_1}, x_{t_2}, x_{t_3}, \dots, x_{t_i}$  enthält, berechnet. Die Berechnung erfolgt zum Zeitpunkt  $t_{i+1}$ ,
- 20 d.h.  $t = t_{i+1}$ , die Schrittweite des Iterationsschritts ergibt sich zu  $t_{i+1} - t_i$ .

- Eine Teilmenge der Folge (8), insbesondere diejenige mit den geringsten Zielfunktionswerten, dient zur Bestimmung der
- 25 Startpunkte für eine sich anschließende lokale Suche nach dem Optimum.

- Die Approximation der Stratonovich-Gleichung (1) erfolgt für den (i+1)-ten Iterationsschritt nach der folgenden Vorschrift
- 30 (mit Hilfe der Trapezregel):

$$\begin{aligned} x_{t_{i+1}} \approx & x_{t_i} \\ & - \frac{t_{i+1} - t_i}{2} \left( P(x_{t_i}) \cdot \nabla f(x_{t_i}) + P(x_{t_{i+1}}) \cdot \nabla f(x_{t_{i+1}}) \right) \\ & + \frac{\varepsilon}{2} \left( P(x_{t_i}) + P(x_{t_{i+1}}) \right) \cdot (B_{t_{i+1}} - B_{t_i}) \end{aligned} \quad (9)$$



Gleichung (9) ist eine implizite Gleichung für die Zufallsvariable  $X_{t_{i+1}}$ . Mit Hilfe des Newton-Verfahrens kann daraus eine Approximation  $y_{t_{i+1}}$  für eine Realisierung der Zufallsvariablen  $X_{t_{i+1}}$  bestimmt werden.

Der Punkt  $y_{t_{i+1}}$  ist u.U. nicht zulässig. Anhand des Korrektors wird nun mit Hilfe eines Newtonverfahrens ein Punkt  $x_{t_{i+1}}$  in der Nähe des Punktes  $y_{t_{i+1}}$  ermittelt, welcher zulässig ist und als Startwert für einen nachfolgenden Iterationsschritt dient.

Eine andere Ausgestaltung besteht darin, daß der Entwurf ein Neuentwurf, eine Anpassung oder eine Steuerung des technischen Systems darstellt.

Für einen erfolgreichen Entwurf werden Werte für den Parametervektor bzw. den Arbeitspunkt bestimmt, die jeweils effizient sind. Eine effiziente Wertebestimmung des Parametervektors bedeutet, daß kein Parameter verändert werden kann, ohne daß sich dadurch eine Verschlechterung einer Güte der Zielfunktion ergäbe.

Ein technisches System kann eine Anlage der Verfahrenstechnik oder ein sonstiges System sein, das im Hinblick auf unterschiedliche Parameter auszulegen oder einzustellen ist. Insbesondere können die Parameter des Parametervektors Auslegungsparameter oder Betriebsparameter des technischen Systems sein. Betriebsparameter kennzeichnen mögliche einstellbare Größen, wohingegen Auslegungsparameter insbesondere physikalische Abmessungen des technischen Systems beschreiben und während des Betriebs zumeist nur mit hohem Aufwand angepaßt oder verändert werden können.

Wahlweise kann mit dem beschriebenen Verfahren ein Neuentwurf des technischen Systems oder eine Anpassung eines bereits existierenden technischen Systems erfolgen. In beiden Fällen

handelt es sich um einen Entwurf (einmal als Neugenerierung und einmal als Anpassung) im Sinne der vorliegenden Ausführungen.

- 5 Im Rahmen einer weiteren Ausgestaltung wird das technische System anhand der ermittelten Parameter realisiert bzw. eingestellt. Hierbei ist es von Vorteil, daß die Parameter in einen Parametervektor, der mittels der Erfindung bestimmt wurde, einen stabilen Betriebspunkt kennzeichnen und die Ein-  
10 stellung des Systems auf diesen Betriebspunkt einen dauerhaft sicheren Betrieb des Systems/ der Anlage gewährleistet.

Zur Lösung der Aufgabe wird weiterhin eine Anordnung zum Entwurf eines technischen Systems angegeben, bei der eine Pro-  
15 zessoreinheit vorgesehen ist, die derart eingerichtet ist, daß

- a) das technische System eine Zielfunktion umfaßt, die von einem Parametervektor mit  $n$  Parametern beeinflussbar ist;
- 20 b) Nebenbedingungen vorgegeben sind, anhand derer ein Gebiet für gültige Arbeitspunkte des technischen Systems bestimmbar ist;
- c) mittels eines Projektionsoperators eine Stratonovich-Gleichung bestimmt wird;
- 25 d) die Stratonovich-Gleichung numerisch lösbar und damit ein effizienter Arbeitspunkt ermittelbar ist;
- e) der effiziente Arbeitspunkt zum Entwurf des technischen Systems einsetzbar ist.

- 30 Diese Anordnung ist insbesondere geeignet zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens oder einer seiner vorstehend erläuterten Weiterbildungen.

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend anhand  
35 der Zeichnung dargestellt und erläutert.

Es zeigen

Fig.1 einen Ablauf eines Verfahrens zum Entwurf eines technischen Systems;

5

Fig.2 eine Skizze, die eine numerische Lösung einer Stratonovich-Differentialgleichung veranschaulicht;

10

Fig.3 eine Skizze, die eine Projektionsmethode veranschaulicht;

Fig.4 eine Prozessoreinheit.

15 Fig.1 zeigt ein Blockdiagramm, das den Ablauf eines Verfahrens zum Entwurf eines technischen Systems veranschaulicht. In einem Block 101 sind eine Zielfunktion und zugehörige Nebenbedingungen gegeben. Die Nebenbedingungen schränken einen Raum, der durch die Anzahl der  $n$  Parameter des Parametervektors bestimmt ist, auf ein Gebiet als Teil dieses Raumes ein.  
20 Als Parametervektor wird ein effizienter Arbeitspunkt aus diesem Gebiet ermittelt, indem eine Stratonovich-Gleichung unter Verwendung von Projektionsoperatoren, die die Nebenbedingungen berücksichtigen, aufgestellt und gelöst wird (vergleiche Blöcke 102 und 103). Ein Teil der gefundenen Arbeitspunkte dient als Startpunkte für eine lokale Suche, die wiederum einen optimalen Punkt (effizienten Arbeitspunkt) liefert (siehe Block 104). Insbesondere umfaßt die numerische  
25 Lösung der Stratonovich-Gleichung ein Prädiktor-Korrektor-Verfahren.  
30

Fig.2 veranschaulicht das Prädiktor-Korrektor-Verfahren. Ausgehend von einem Punkt  $x_{t_i}$ , der sich im zulässigen Arbeitsbereich  $L$  befindet, wird ein Punkt  $y_{t_{i+1}}$  ermittelt (Anwendung des Newton-Verfahrens auf Gleichung (9)), der nicht mehr im zulässigen Bereich  $L$  liegt (Prädiktorschritt 201). Um den Punkt  $y_{t_{i+1}}$  wieder in den zulässigen Bereich zu überführen  
35

wird ein Korrektorschritt 202 bestimmt, der zu dem Punkt  $x_{t_{i+1}}$  führt.

Das Zusammenspiel von Prädiktor und Korrektor wird iterativ mit gleichbleibender, abnehmender oder zunehmender Schrittweite wiederholt. Hierbei sei bemerkt, daß die Linie 201 nicht notwendigerweise tangential verläuft.

**Fig.3** veranschaulicht die Projektionsmethode. Wiederum ist der zulässiger Bereich  $L$  angegeben, auf dem sich der Punkt  $x_{t_i}$  befindet. Die Linie 203 kennzeichnet eine Aufstiegsrichtung  $F(X_t)$ , eine Linie 204 deutet eine projizierte Aufstiegsrichtung  $P(X_t) \cdot F(X_t)$  an.

In **Fig.4** ist eine Prozessoreinheit PRZE dargestellt. Die Prozessoreinheit PRZE umfaßt einen Prozessor CPU, einen Speicher SPE und eine Input/Output-Schnittstelle IOS, die über ein Interface IFC auf unterschiedliche Art und Weise genutzt wird: Über eine Grafikschnittstelle wird eine Ausgabe auf einem Monitor MON sichtbar und/oder auf einem Drucker PRT ausgegeben. Eine Eingabe erfolgt über eine Maus MAS oder eine Tastatur TAST. Auch verfügt die Prozessoreinheit PRZE über einen Datenbus BUS, der die Verbindung von einem Speicher MEM, dem Prozessor CPU und der Input/Output-Schnittstelle IOS gewährleistet. Weiterhin sind an den Datenbus BUS zusätzliche Komponenten anschließbar, z.B. zusätzlicher Speicher, Datenspeicher (Festplatte) oder Scanner.

## Literaturverzeichnis:

- [1] K. Ritter, S. Schäffler: "A Stochastic Method for  
Constrained Global Optimization", SIAM 3.Optimization,  
Vol.4, No.4, pp.894-904, 1994.
- 5 [2] D. G. Luenberger: "Linear and Nonlinear Programming",  
Addison-Wesley Publishing Company, Massachusetts, pp.334-  
337.
- [3] P. Protter: "Stochastic Integration and Differential  
Equations - A New Approach", Springer Verlag, New York,  
10 pp.215-235.
- [4] J. Stoer: "Numerische Mathematik 1", Springer-Verlag,  
Berlin, Heidelberg, 1994, pp.138-144.
- [5] S. Schäffler: "Global Optimization Using Stochastic  
Integration"; Theorie und Forschung, Bd.340: Mathematik,  
15 Bd.3; Regensburg: Roderer, 1995; ISBN 3-89073-0;  
pp.19-29.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Entwurf eines technischen Systems,
  - a) bei dem das technische System eine Zielfunktion um-  
5 faßt, die von einem Parametervektor mit n Parametern  
beeinflußt wird;
  - b) bei dem Nebenbedingungen vorgegeben sind, anhand derer  
ein Gebiet für gültige Arbeitspunkte des technischen  
Systems bestimmt ist;
  - 10 c) bei dem mittels eines Projektionsoperators eine Stra-  
tonovich-Gleichung bestimmt wird;
  - d) bei dem die Stratonovich-Gleichung numerisch gelöst  
und damit ein effizienter Arbeitspunkt ermittelt wird;
  - e) bei dem der effiziente Arbeitspunkt zum Entwurf des  
15 technischen Systems eingesetzt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1,  
bei dem die Stratonovich-Gleichung derart bestimmt wird,  
daß deren Lösung in dem Gebiet der gültigen Arbeitspunkte  
20 verläuft.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,  
bei dem die Stratonovich-Gleichung mittels eines Prädik-  
tor-Korrektor-Verfahrens numerisch gelöst wird.  
25
4. Verfahren nach Anspruch 3,  
bei dem der Prädiktor anhand der Trapezregel bestimmt  
wird.
- 30 5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4,  
bei dem der Korrektor mittels Newton-Verfahren bestimmt  
wird.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
35 bei dem zusätzlich eine Schrittweitensteuerung erfolgt.

7. Verfahren nach Anspruch 6,  
bei dem die Schrittweitensteuerung derart erfolgt,  
a) daß eine Schrittweitenverkleinerung durchgeführt wird,  
falls ein hinreichend großer Approximationsfehler er-  
mittelt wird oder  
b) daß eine Schrittweitenvergrößerung durchgeführt wird,  
falls ein hinreichend kleiner Approximationsfehler er-  
mittelt wird.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
bei dem die Stratonovich-Gleichung die folgende Form auf-  
weist:

$$X_t = X_a - \int_a^t P(X_s) \cdot F(X_s) \cdot ds + Z \quad \text{mit } t \geq a \text{ und } X_a = x_0$$

15

wobei

a            einen Startzeitpunkt ( $a \geq 0$ ),  
x<sub>0</sub>           einen zulässigen Startparametervektor,  
X<sub>t</sub>           einen Lösungsparametervektor zum Zeitpunkt t,  
P(X<sub>s</sub>)        eine Projektionsmatrix im Parametervektor X<sub>s</sub>,  
F(X<sub>s</sub>)        eine Aufstiegsrichtung,  
Z            eine Zufallsgröße  
bezeichnen.

9. Verfahren nach Anspruch 8,  
bei dem die Aufstiegsrichtung bestimmt ist durch

$$F = \nabla f(X_s),$$

wobei f die Zielfunktion bezeichnet.

10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9,  
bei dem die Zufallsgröße bestimmt ist durch

$$Z = \varepsilon \cdot \int_a^t P(X_s) \circ dB_s$$

wobei

5  $\varepsilon$  einen Skalierungsfaktor und  
 $\{B_s: s \geq a\}$  eine n-dimensionale Brownsche Bewegung  
bezeichnen.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
bei dem der ermittelte Arbeitspunkt als Startpunkt für  
10 ein lokales Optimierungsverfahren eingesetzt wird.
12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
bei dem eine Nebenbedingung, die in Form einer Unglei-  
chung vorliegt, mittels einer Schlupfvariable  $s$  in eine  
15 Gleichung umgeformt wird.
13. Verfahren nach Anspruch 12,  
bei dem die Nebenbedingung  $h_i(x)$ , die in Form der Unglei-  
chung  $h_i(x) \leq 0$  vorliegt, formuliert wird zu

20  $\tilde{h}_i(x, s) = h_i(x) + g(s),$

wobei

25  $g(s)$  eine Funktion mit einem Wertebereich aller reel-  
len Zahlen größer gleich Null,  
 $s$  die Schlupfvariable und  
 $h_i(x)$  eine Nebenbedingung  $h_i(x) \leq 0$   
bezeichnen.

- 30 14. Verfahren nach Anspruch 13,  
bei dem die Funktion  $g(s)$  bestimmt ist zu

$$g(s) = s^2.$$



15

15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
bei dem der Entwurf ein Neuentwurf, eine Anpassung oder  
eine Steuerung des technischen Systems darstellt.

5

16. Anordnung zum Entwurf eines technischen Systems,  
bei der eine Prozessoreinheit vorgesehen ist, die derart  
eingerichtet ist, daß
- 10 a) das technische System eine Zielfunktion umfaßt, die  
von einem Parametervektor mit  $n$  Parametern beeinfluß-  
bar ist;
- b) Nebenbedingungen vorgegeben sind, anhand derer ein Ge-  
biet für gültige Arbeitspunkte des technischen Systems  
bestimmbar ist;
- 15 c) mittels eines Projektionsoperators eine Stratonovich-  
Gleichung bestimmt wird;
- d) die Stratonovich-Gleichung numerisch lösbar und damit  
ein effizienter Arbeitspunkt ermittelbar ist;
- 20 e) der effiziente Arbeitspunkt zum Entwurf des techni-  
schen Systems einsetzbar ist.

1/2

FIG 1

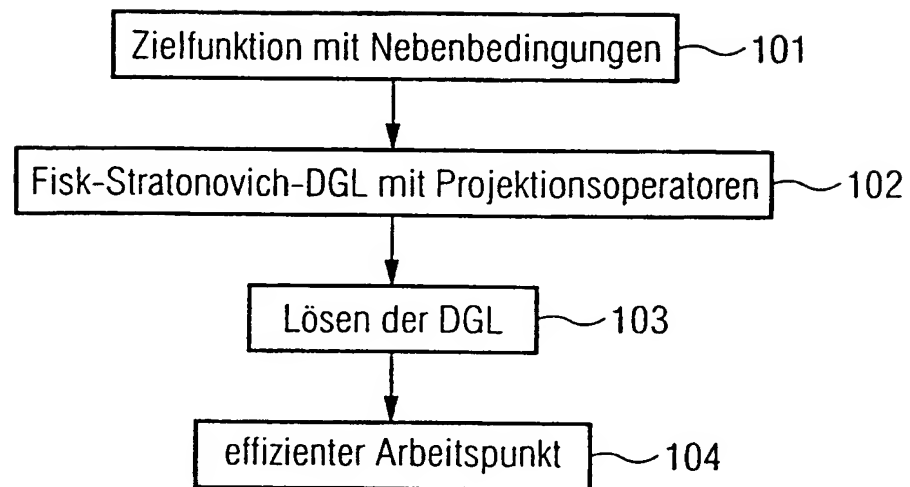
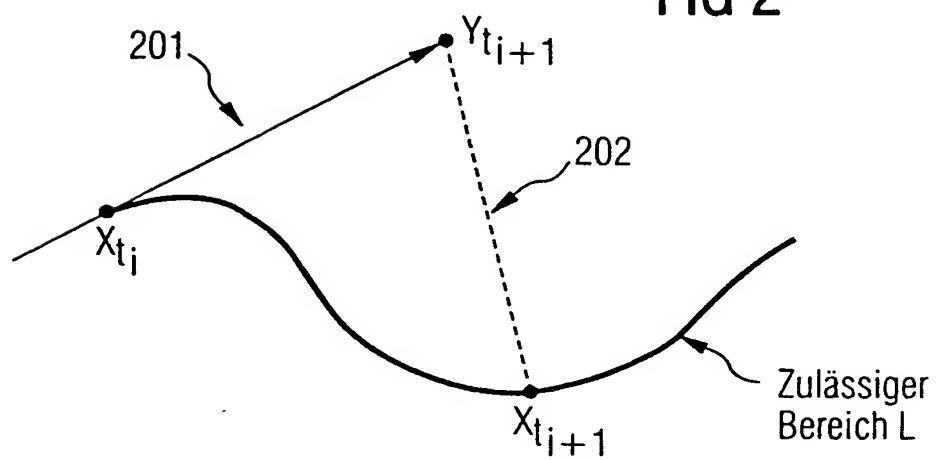


FIG 2



2/2

FIG 3

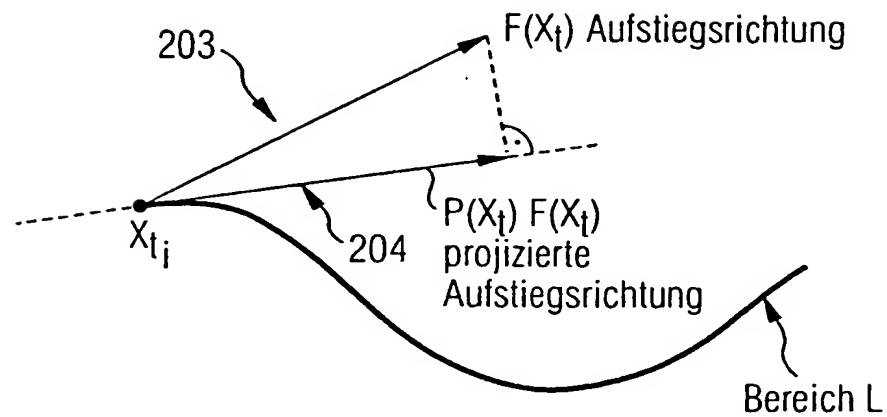
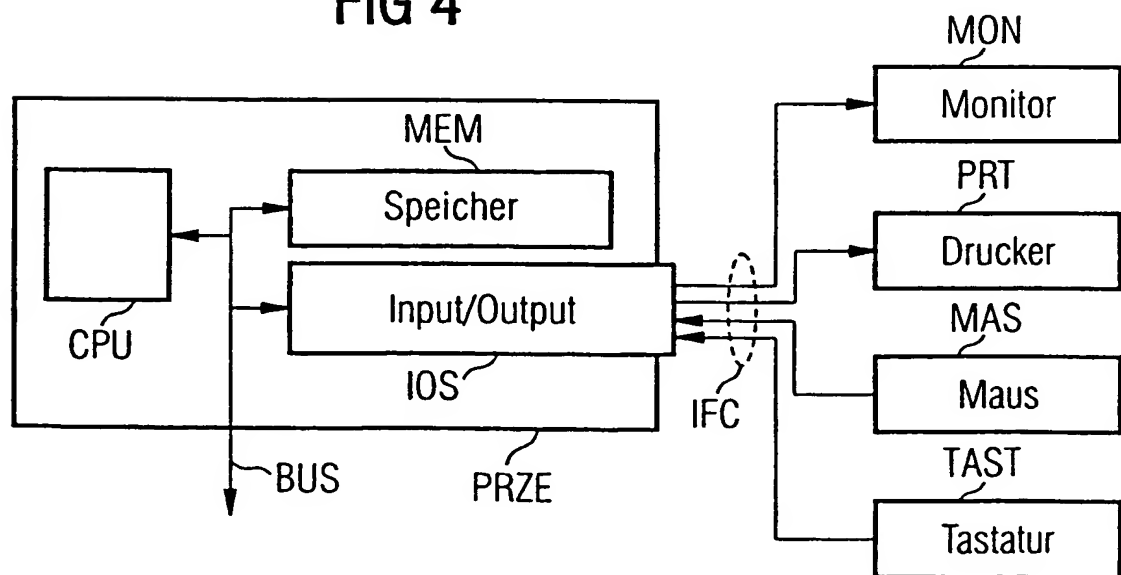


FIG 4



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

ational Application No

PCT/DE 00/01035

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**

IPC 7 G05B13/02 G05B17/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G05B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EP0-Internal

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	T.MISAWA: "THE SIMILARITY METHOD IN STOCHASTIC DYNAMICAL SYSTEMS" IMA JOURNAL OF APPLIED MATHEMATICS, vol. 59, no. 3, December 1997 (1997-12), pages 261-272, XP000900649 UK page 261, line 1 -page 267, line 8 ---	1, 16
A	M.DI PAOLA ET AL: "STOCHASTIC DYNAMICS OF NON-LINEAR SYSTEMS EXCITED BY PARAMETRIC DELTA CORRELATED PROCESSES" PROCEEDINGS OF THE 1996 7TH SPECIALITY CONFERENCE ON PROBABILISTIC MECHNAICS AND STRUCTURAL AND GEOTECHNICAL RELIABILITY, 7 August 1996 (1996-08-07), pages 930-933, XP000900650 USA the whole document --- -/--	1, 16



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

5 September 2000

Date of mailing of the international search report

13/09/2000

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Kelperis, K

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/DE 00/01035

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>P. MC CLINTOCK: "FURTHER EXPERIMENTAL EVIDENCE PERTAINING TO THE APPLICABILITY OF THE ITO AND STRATONOVIC STOCHASTIC CALCULI TO REAL PHYSICAL SYSTEMS" PHYSICS LETTERS, vol. 107A, no. 8, 25 February 1985 (1985-02-25), pages 367-370, XP000900656 NETHERLANDS the whole document -----</p>	1,16

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 7 G05B13/02 G05B17/02

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

**B. RECHERCHIERTE GEBIETE**

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
IPK 7 G05B

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

**C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN**

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	T.MISAWA: "THE SIMILARITY METHOD IN STOCHASTIC DYNAMICAL SYSTEMS" IMA JOURNAL OF APPLIED MATHEMATICS, Bd. 59, Nr. 3, Dezember 1997 (1997-12), Seiten 261-272, XP000900649 UK Seite 261, Zeile 1 -Seite 267, Zeile 8 ----	1,16
A	M.DI PAOLA ET AL: "STOCHASTIC DYNAMICS OF NON-LINEAR SYSTEMS EXCITED BY PARAMETRIC DELTA CORRELATED PROCESSES" PROCEEDINGS OF THE 1996 7TH SPECIALITY CONFERENCE ON PROBABILISTIC MECHNAICS AND STRUCTURAL AND GEOTECHNICAL RELIABILITY, 7. August 1996 (1996-08-07), Seiten 930-933, XP000900650 USA das ganze Dokument ----- -/--	1,16



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

5. September 2000

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

13/09/2000

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Kelperis, K

## C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	<p>P. MC CLINTOCK: "FURTHER EXPERIMENTAL EVIDENCE PERTAINING TO THE APPLICABILITY OF THE ITO AND STRATONOVIC STOCHASTIC CALCULI TO REAL PHYSICAL SYSTEMS" PHYSICS LETTERS, Bd. 107A, Nr. 8, 25. Februar 1985 (1985-02-25), Seiten 367-370, XP000900656 NETHERLANDS das ganze Dokument -----</p> <p>1985-02-25, 1985-02-25</p>	1,16

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**